

〈論 文〉

용탕단조법에 의한 금속복합재료의 성형공정에 있어서 함침한계성에 관한 연구

강충길* · 구광서**

(1993년 1월 9일 접수)

A Study on Infiltration Limits in Forming Process of Metal Matrix Composites by Squeeze Casting

C. C. Kang and G. S. Ku

Key Words : Squeeze Casting(용탕단조법), Metal Matrix Composites(금속복합재료), Preform(예비성형체), Infiltration Limits(함침한계성)

Abstract

The squeeze casting process is considered as an attractive way to form the primary product of near net shape metal matrix composites for wide use in automobile industry. To understand for infiltration limit in squeeze casting processes, the SAFFIL short fiber preform of volume fraction 10%~23% were fabricated by vacuum pumping and speed control press, and the optimal condition for fiber preform fabrication had been experimentally obtained. The composite materials were fabricated by forced infiltration of molten metals such as Al6061, Al7075, pure Al, AC8A, and Al2024. The infiltration distance and deformation of fiber preform are observed, and tensile strength were measured from at the room temperature.

1. 서 론

금속복합재료는 비탄성률과 비강도가 높으며, 파괴강도의 증대, 내마모성 및 내식성 향상, 열팽창계수의 조정과 높은 치수의 안정성, 파괴인성향상과 파괴흡수에너지의 증대, 고충격강도 등의 특징 때문에 자동차 및 항공기 부문업체에서는 그 실용화 및 응용의 확대를 위하여 최종 부품모양에 가장 가까운 금속복합재료의 성형공정에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다. 이상의 필요성 때문에 현재 ① 분말야금법 및 접합법 ② Compocasting 법 ③ 용융교반법(stirring method) ④ 용탕단조법 등의 방법에

의하여 금속복합재료의 부품을 제조하고 있다.

①방법은 제품단가 및 모양에 한계가 있고 ②의 방법은 기지재와 섬유와의 균일분산 및 섬유의 손상 등의 문제점 때문에 실용화를 위한 연구는 거의 중단된 상태이다. ③의 방법은 용융상태의 기지재에 강화재를 균일하게 혼합하는 방법으로써 다이캐스팅, 원심 주조 등에 이용하여 입자강화형 금속복합재료의 부품을 제조하고 있으나, 입자와 기지재 사이의 밀도 차이로 인한 입자의 침전, 부상 및 다 이 설계 등이 큰 문제점으로 야기되고 있다. ④의 방법은 성형시간이 짧고, 연속적인 공정으로 제품의 크기와 형상에 구속되지 않는 부품의 제조가 용이하며 경제성 및 생산성이 좋으므로 최종 제품에 가까운 금속복합재료 부품을 제조하는데 있어 효과적인 성형공정이다. 용탕단조법에 의한 금속복합재

*정회원, 부산대학교 정밀기계공학과

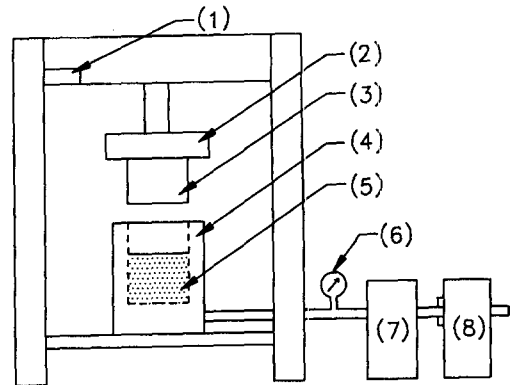
**연암공업전문대학 기계설계학과

료의 제조에 관한 연구는 용융상태의 기지재가 예비성형체에 함침될 때 함침시간과 함침거리와의 실험 및 이론적 관계, (1~3) 함침완료후 금속복합재료의 기계적 성질 및 계면관찰, (4~5) 가압력과 용탕의 주입온도 등을 고려한 복합재료에의 1차원 온도해석(6~8) 등에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. 이들의 연구내용은 성형한계성과 관련이 있는 함침거리를 일방향 함침으로만 생각하였기 때문에 금형다이를 이용하여 임의 형상의 금속복합재료의 부품을 제조할 때는 불가능하다. 왜냐하면 용탕단조시 용융금속, 예비성형체 및 복합재료간의 열전달 현상은 3차원 현상이며 또한 예비성형체와 용융금속의 온도차이로 인하여 가압방향의 각단면에 있어서 함침거리가 다르기 때문이다. 예비성형체도 대부분 원형형태의 상용 예비성형체를 사용하기 때문에 실제의 부품 형상을 금속복합재료로 제조하기에는 불충분하다. 따라서 본 연구에서는 부품의 모양에 구속되지 않으면서도 실용화의 가치가 충분히 있고, 대량생산이 가능한 용탕단조법에 의하여 금속복합재료를 제조할때 극히 중요한 임의 형상의 예비성형체(perform)의 제조를 위한 실험장치를 설계 제작하였다. 또한 제작되어진 실험 장치에 의하여 예비성형체를 제조하기 위한 공정 인자사이의 상호관계를 파악하였다. 금속복합재료를 성형할 때 예비성형체내에 존재하는 기공사이로 용탕이 함침될 수 있는 상태는 기지재의 종류와 성형조건에 따라 다르기 때문에 여러가지 기지재에 대한 함침상태를 실험적으로 구하고 또한 함침도중 예비성형체의 변형상태, 계면관찰 및 기계적성질 등을 조사하여 기지재의 종류에 따른 성형한계성을 도출하였다.

2. 예비성형체 제조를 위한 실험장치

자동차 및 항공기 부품, 방위산업 등에 사용되어지는 부품은 모양이 복잡하며 또한 부품으로써 사용되어지기 위한 기계적성질도 전부 다르다. 각종 부품이 요구하는 기계적성질에 영향을 미치는 결정적 요소는 섬유 함유율과 용탕단조시 성형공정 인자이다. 따라서 본 실험장치에서는 섬유함유율을 제어할 수 있고, 임의 형상의 예비성형체를 제조할 수 있는 장치를 고안하였다.

Fig. 1은 예비성형체의 제조장치를 나타낸 것으로 그 기능은 다음과 같이 3가지로 분류할 수 있다.



(1) Velocity (2) Load cell (3) Punch
(4) Mould (5) Preform (6) Vacuumgauge
(7) Drain box (8) Vacuum pump

Fig. 1 Schematic diagram of an apparatus for fabrication of preform by vacuum pumping and pressing

- ① 유압프레스 부분
- ② 예비성형체 제조를 위한 금형부분
- ③ 섬유의 배향 및 섬유함유율을 제어하기 위한 배수 및 진공장치 부분

유압실린더에 로오드 셀(2)가 부착되어 있다. 유압실린더 작동은 전동모우터에 부착되어 있는 유량제어에 의하여 속도를 0.1~15 mm/sec로 무단으로 제어하게끔 되어 있다. 이때 유압실린더는 속도계(1)에 의하여 측정하게끔 되어있다.

예비성형체를 제조하기 위한 금형(4), 펀치(3)이 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 조립되어 있다.

예비성형체 제조에 있어서 가장 중요한 섬유의 체적 함유율의 제어를 위한 본 제조장치는 펀치(3)과 진공펌프(8)의 작동에 의하여 섬유의 체적함유율을 제어하게끔 되어 있다.

섬유중에 있는 물을 제거하고 또한 일정한 밀도를 가진 예비성형체의 제조를 위하여 진공압 측정계(6)과 배수상자(7)이 부착되어 있다.

3. 예비성형체의 제조 및 실험결과

본 연구에서 사용한 강화재는 길이가 150 μm 인 SAFFIL의 Al_2O_3 단섬유를 사용하였다. 제조하고자 하는 예비성형체의 체적을 계산하고, 얻고자 하는 섬유의 체적함유율이 되도록 알루미늄 단섬유의 질량을 계산하였다.

Table 1 Manufacturing conditions of preform

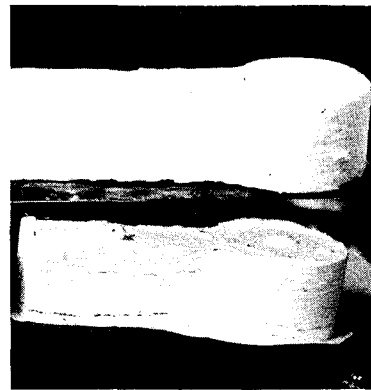
Volume of distilled water(cc)	Maintaining time of vacuum pressure (minute)	Vacuum pressure (mmHg)	Stirring time (minute)	Amount of binder(%)
250	10	10	5	5
500	15	20	10	10
750	20	30	20	15
1000	25		30	
	30			

단섬유내에 습기가 포함되지 않도록 전기오븐에서 100℃로 건조보관시킨 다음 단섬유를 원하는 체적함유율이 되도록 전자저울에서 그양을 측정된 후, 미리 비이커 속에 담아 두었던 증류수에 적정량의 바인더와 함께 혼합한 후 단섬유의 균일 분산을 위해 회전하는 임펠러로써 교반을 행하여, 단섬유끼리의 뭉침을 최대한 억제하였다. 단섬유와 바인더의 혼합물을 교반한 후 성형모우드 속에 주입하고, 유리막대로 단섬유 혼합물을 재차 잘섞어준 후 모우드 벽면의 기포를 제거하였다. 그 후 혼합물 중의 단섬유가 거의 다 가라앉을 때 까지 그대로 두었다가 진공펌프로 증류수를 뽑아내면서 Fig. 1의 유압프레스에 부착되어 있는 펀치로써 원하는 예비성형체의 높이까지 가압하고 외관상 모우드내 증류수가 다 배출된 후에도 일정시간 동안 계속하여 진공펌프로 증류수를 배출시켰다.

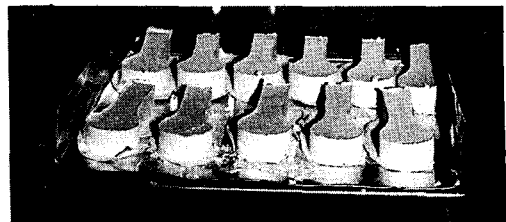
프레스작업과 증류수의 배출작업이 끝나면 모우드를 분리하고 펀치의 하강에 의해 예비성형체를 추출하였다. 위와같은 방법에 의해 동일한 체적을 가지면서 체적함유율이 다른 예비성형체를 제조하였다. 이상과 같은 순서에 의하여 예비성형체를 제조할 때 최적 성형조건을 찾기 위하여 증류수의 양, 진공압 유지시간, 진공압, 교반시간 및 예비성형체에 대한 바인더의 무게비를 Table 1과 같이 하여 각각 실험을 하였다.

증류수의 양이 250 cc~500 cc, 교반시간 30분, 진공압 30 mmHg, 바인더 양은 예비성형체 무게의 15%일 때 표면에 기공이 생겼는데 이는 단섬유 사이로 흐르는 증류수의 양이 불충분하여 생기는 것으로 생각된다. 예비성형체 제조조건에서 증류수 양을 1000 cc로 할 경우는 증류수 자체에 의한 압력이 너무 커서 예비성형체가 압착되어 체적함유율을 높이는 결과를 가져오며 또한 표면상태가 균일

하지 못하였다. 증류수의 양이 250~500 cc, 교반시간 30분, 바인더 양 15%, 진공압이 비교적 적은 5~10 mmHg인 경우는 단섬유 혼합물 전체에 균일한 진공압이 미치지 못하여 예비성형체 사이에 기공이 발생하였다. 교반시간이 5분일 때에는 단섬유의 응집 현상이 다수 관찰되었으며 10분이상에서는 거의 섬유의 응집현상이 없이 양호한 분산상태를 나타내었다. 위에서 논한 불완전한 예비성형체의 예를 Fig. 2(a)에 나타내었다. 교반시간 10분, 증류수 양 750 cc, 진공압 유지시간 30분, 진공압력 20



(a)



(b)

Fig. 2 (a) Samples of imperfect preforms
(b) Dry processes of preforms

mmHg, 바인더 양은 섬유함유율 $V_f=10\%$ 의 경우 10% 이상, $V_f=20\%$ 의 경우 15%이상 첨가시에 한하여 전기오븐에 건조한 예비성형체에 균열이 발생하지 않았다.

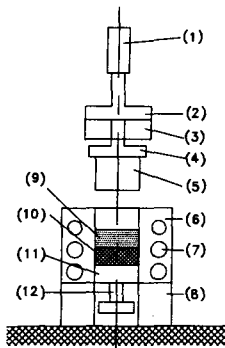
교반시간이 너무 길면 패들의 회전에 따른 섬유의 파단량이 증가하며 과다한 바인더가 첨가되면 복합재를 건조한 후 그것이 석출물로 남아 재료 내부의 결함으로 존재한다. 따라서 교반시간은 분산 상태가 외관상 양호한 최소의 시간인 10분으로 하였으며, 바인더 양은 섬유사이의 결합력을 유지하는 최소한의 양으로 정하며, 섬유체적을 $V_f=10\%$ 의 경우 예비성형체 무게의 10%, $V_f=20\%$ 의 경우는 15%, 증류수의 양 750cc, 진공압 유지시간 30분, 진공압력 20 mmHg로 예비성형체를 제조하였다. 이상과 같은 방법에 의하여 제조되어진 두께 24 mm인 예비성형체의 건조 과정을 Fig. 2(b)에 보여 주고 있다.

4. 용탕단조법에 의한 금속복합재료의 성형공정

4.1 제조장치의 설명

예비성형체를 이용하여 금속복합재료를 제조할 때 예비성형체내에 존재하는 기공사이로 용탕이 침투되어야 한다. 이때 예비성형체의 섬유함유율에 따라 성형조건을 변화시킬 수 있도록 금속복합재료를 제조하는 실험장치를 설계 제작하였다.

Fig. 3는 용탕단조법에 의하여 금속복합재료를 제



(1) Cylinder (2) Upper plate (3) Load cell
(4) plate (5) Punch (6) Upper mold (7) Heater
(8) Supporter (9) Liquid metal (10) Preform
(11) Lower plate (12) Supporting bar

Fig. 3 Schematic diagram showing experimental apparatus used for squeeze casting

조하는 실험장치들이다. 금속복합재료의 제조장치는 예비성형체의 체적함유율과 지지재의 종류등에 따라 제조조건이 다르다. 따라서 섬유의 체적함유율 및 지지재의 종류등에 따라 성형조건을 변화시킬 수 있도록 장치를 설계제작하였다. 본 제조장치의 기능중 중요한 부분을 다음과 같이 2가지로 분류하였다.

- ① 압력 및 속도제어용 유압프레스 부분.
- ② 금속복합재료의 제조를 위한 금형부분

유압실린더(1)에 프레이트(2)가 부착되어 있고 그 밑에 로드셀(3)이 부착되어 있다. 상모우드(6)의 온도를 제어할 수 있는 열선(7)이 모우드에 삽입되어 있다. 이때 상모우드(6)에 발생하는 열이 로드셀(3)을 손상시킬 수 있으므로 이것을 방지하기 위하여 펀치(5)를 지지하는 프레이트(4)에 냉각수를 흐르도록 하였다. 프레이트 지지봉(12)의 상하이동에 의하여 제품을 추출하기도 하고, 또한 섬유의 예비성형체(10)을 금형의 케비티내에 주입하도록 되어 있다. 성형중 금형과 펀치부분의 온도를 측정하기 위하여 펀치부에는 펀치표면으로부터 1 mm, 다이 부분에는 2개의 열전대를 좌우에 각각 1개씩, 케비티 내부표면으로부터 1 mm의 위치에 직경 1.6 mm의 열전대를 매몰하였다. 이때 다이의 길이는 10 cm로 하였으며, 케비티의 형상을 Fig. 4에서 보여 주는 바와 같이 임의의 형상을 가진 모

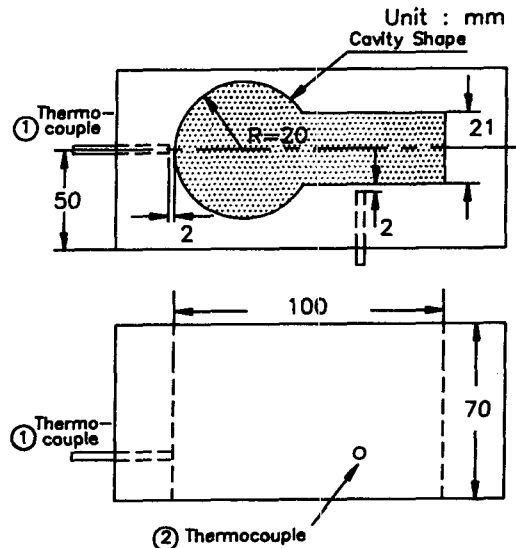


Fig. 4 Die cavity shape and position of thermocouples

양으로 설계되어 있다.

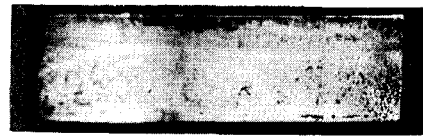
4.2 금속복합재료의 함침한계성 실험

현재 금속복합재료에 사용되어지는 기지재는 AC8A와 Al 6061에 각각 단섬유 및 SiC whisker를 사용하여 피스톤 및 커넥팅 로드를 제조하고 있지만 피스톤을 제외하고는 실용화가 되어있지 않다.

본 연구에서는 AC8A, Al6061, Al2024, Al7075 및 순수Al 등의 기지재를 사용하였다. 용탕단조법의 제조변수들로는 가압력, 단섬유의 체적함유율, 가압속도, 예비성형체 온도, 기지재의 주입온도, 금형온도 및 가압 지연시간 등이 있는데, 본 실험에서는 금속복합재료의 성형한계성에 크게 영향을 미친다고 예상되는 가압력, 섬유함유율, 기지재의 종류 및 예비성형체의 온도를 성형변수로 하였으며, 실험의 재현성을 확인하기 위하여 한공정의 조건에서 4회씩 실험을 하였다. 금형은 가압을 완료한 후 시편을 쉽게 추출하기 위해 밀판이 분리가능하도록 제작하였으며, 열전대를 정면과 측면의 중앙부에 각각 부착하여 금형의 온도를 제어하였다. 우선 프레스의 압력을 소정의 압력으로 고정된뒤 이형재를 금형 및 펀치에 골고루 바르고 펀치를 하강하여 금형속에 넣은후 예열시킨다. 금형유지 온도에 달하면 미리 전기로에서 예열시킨 예비성형체를 금형안에 위치시키고, 실험온도로 용융한 기지재를 금형의 케비티내에 주입한 후 가압하였다. 이때 금형온도 및 가압력을 측정하여 기지재가 용탕내에 함침되는 시간과 압력과의 관계를 정량적으로 파악하였다. 30초 동안 가압한 후 밀판을 분리하고 150°C까지 강제공냉시킨 후 펀치의 하강과 함께 금속복합재료를 추출하였다.

5. 실험결과 및 고찰

일정한 온도를 가진 용융상태의 기지재를 예열되어진 두께 24 mm의 예비성형체에 주입하여 가압할 때 함침한계성을 조사하기 위하여 Fig. 5(a, b, c)과 같이 3가지로 분류하였다. Fig. 5(a)는 예비성형체의 외형과 기지재가 예비성형체에 완전히 함침된 복합재료의 외형을 각각 나타낸 것이며 기호 ○, △으로 나타내었다. Fig. 5(b)는 기지재가 예비성형체에 완전히 함침이 되었으나 예비성형체에 많은 변형현상이 나타난 경우이며 기호 ⊕, □, ◇로 나타내었다. 또한 Fig. 5(c)는 용융상태의 기지재가 함침



(a) Good infiltration (○, △)



(b) Infiltration and preform deformation (○, □, ◇)



(c) Infiltration and solidification (⊗)

Fig. 5 (a) (b) (c) Appearance matrix composites produced by squeeze casting method

Symbol	Tp (°C)	Tm (°C)	Infiltration limit
○	300	400	Fig. 5(a)
△	400	300	Fig. 5(a)
⊕	300	400	Fig. 5(b)
⊗	300	400	Fig. 5(c)

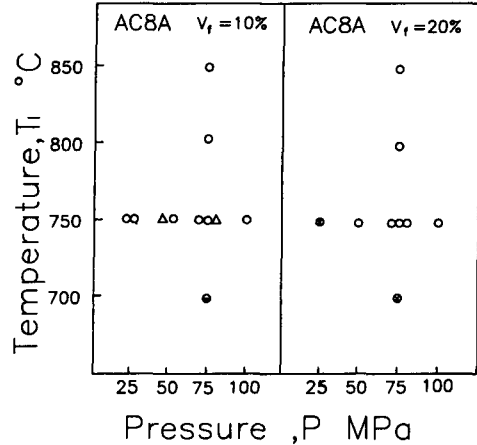


Fig. 6 Infiltration limits for variation of pressure volume fraction and pouring temperature of molten metal in AC8A matrix alloy

도중 응고되어 함침이 도중에 중단된 경우이며 기호 ⊗로 나타내었다. Fig. 6에서 Fig. 8까지 각각의 실험조건 및 기지재의 종류에 대하여 함침된 상태를 위의 세가지 형태의 기호로 분류하여 정리하였고, 기호에 따른 성형조건은 각각의 그림 위부분에 표로 나타내었다. Fig. 6은 내열성이 우수하며 다

이캐스팅 재료로 일반적으로 많이 이용되고 있는 AC8A를 기지재로 하였을 때 성형한계성을 가압력 P , 기지재의 주입온도 T_1 (°C) 및 섬유함유율 V_f (%)의 변화에 따라 각각 나타낸 것이다. AC8A의 경우는 주조용 Al합금이므로 성형성이 양호하며 $T_1=700$ °C인 경우를 제외하고는 24 mm 두께의 예비성형체에 기지재가 완전히 함침되었음을 알 수 있다. 따라서 AC8A의 경우는 T_m , T_p 를 300°C 이상으로 하고 T_1 를 750°C 이상으로 유지하면 완전히 함침된 금속복합재료를 얻을 수 있음을 확인하였다.

Fig. 7은 기지재의 변화에 따른 함침상태를 나타낸 것이다. 성형조건이 $T_m=430$ °C, $T_p=450$ °C, $P=75$ Mpa, $T_1=750\sim 850$ °C인 경우 AC8A를 제외하고는 대부분 성형한계성이 양호하지 못하였다. 위의 원인은 AC8A를 제외한 기지재의 경우는 과열도가 AC8A에 비하여 적기 때문에 함침도중 기지재와 섬유사이의 열전달에 의하여 기지재의 응고현상이 AC8A에 비하여 빨리 일어나기 때문인 것으로 생각된다. AC8A를 제외한 기지재의 경우에 있어서 양호한 성형한계성을 얻기 위해서는 $T_1=750\sim 850$ °C일 때 예비성형체의 온도가 430°C 이상으로 되어야 될 것으로 기대된다. Fig. 8는 AC8A 이외에 기지재의 종류에 따른 성형한계성을 성형압력 P 와 용융온도 T_1 의 변화에 대하여 각각 나타낸 것이다.

T_m , T_p 를 450°C 이하로 한 경우 어떠한 기지재에 대해서도 완전히 함침된 금속복합재료를 얻을 수 없었다. 이는 용탕온도에 비해 예비성형체 온도가 낮고 AC8A에 비해 유동성이 떨어지기 때문에 함침완료전에 응고현상이 일어나는데 기인한다고 생각된다. 반면 T_p 를 800°C로 하면 유동성이 좋지 않은 Al2024의 경우에도 완전히 함침된 제품을 얻었다. 따라서 여타의 기지재에 대해서도 T_p 를 올리면 같은 결과를 얻을 것으로 생각되나 금형의 열부하 증가로 수명이 단축되는 문제점이 있다.

위의 실험결과에서 알 수 있는 바와 같이 성형 조건 $T_1=750\sim 850$ °C, $T_m=400\sim 450$ °C, $T_p=300\sim 400$ °C, $V_f=10\sim 23\%$ 및 $P=75$ Mpa 이상에서는 용융상태의 기지재가 함침될 때 예비성형체가 변형됨을 알 수 있었다. 또한 $P=50$ Mpa에서는 함침도중 기지재가 완전히 응고되어 함침이 되지 않은 경우도 관찰되었다.

Fig. 9(a, b)은 섬유 함유율이 각각 $V_f=10\%$, 20%

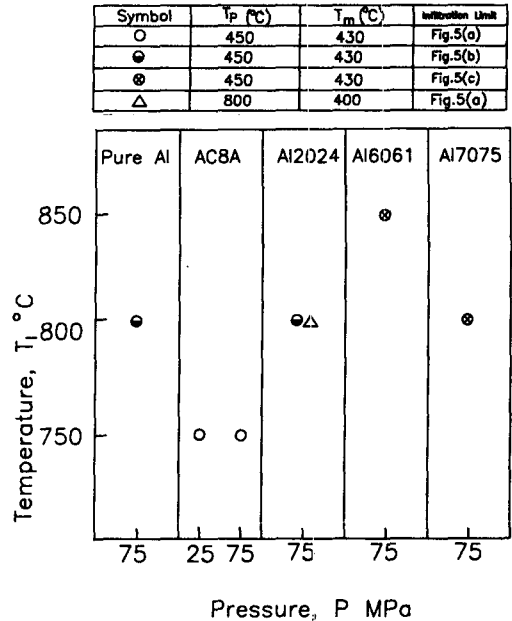


Fig. 7 Infiltration limits for variation of pressure pouring temperature of various matrix alloy in a volume fraction $V_f=23\%$

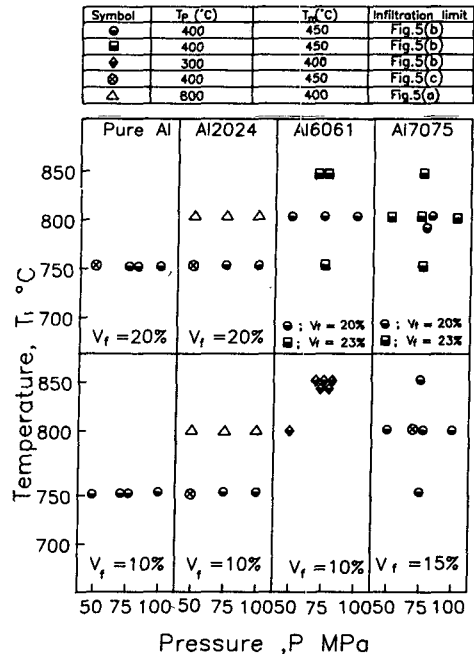


Fig. 8 Infiltration limits for variation of matrix alloy, pressure, pouring temperature of molten metal in volume fraction $V_f=10\%\sim 23\%$

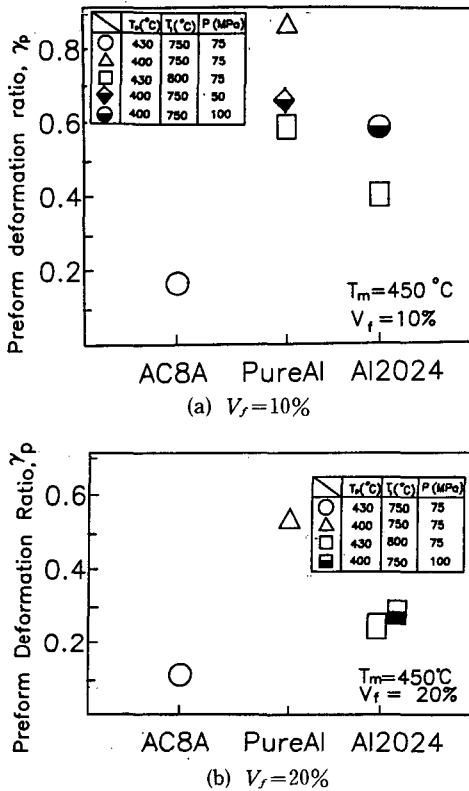


Fig. 9 (a) (b) Relation preform deformation ratio and various matrix alloy in squeeze casting process

일 때 예비성형체의 변형율을 성형조건과 관련시켜 나타낸 것으로 여기서의 기호는 Fig. (5)의 정의와 무관하다. 여기서 예비성형체의 변형율 γ_p 은 다음과 같이 정의하였다.

$$\gamma_p = 1 - \frac{H}{H_0}$$

(H_0, H : 성형전 · 후의 예비성형체의 높이)

H 값은 시편길이 방향으로 다르기 때문에, 길이 방향으로 10등분하여 측정하고 그값의 평균값을 취하였고, 측정은 버어니어 캘리퍼스를 이용하였다.

기지재가 AC8A의 경우 γ_p 가 0.17~0.11 정도로 성형이 되었으며 그 이외의 기재재에 대한 γ_p 는 0.9~0.3 정도로 예비성형체의 변형량이 현저하게 증가되어 복합재료의 강도에 결정적으로 영향을 주는 섬유함유율 V_f 를 정확히 예측할 수 없을 것으로 사료된다. 특히 순수 Al의 경우는 용융점이 높고, 반응용 영역이 거의 존재하지 않기 때문에 함

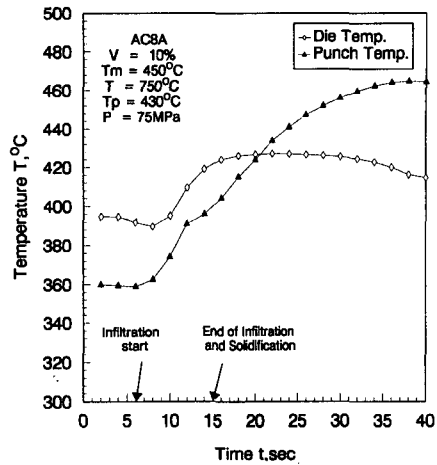


Fig. 10 Temperature distribution of punch and die to variation of time in squeeze casting process for Metal Matrix Composites

침도중 응고가 빨리 일어나 예비성형체의 변형률이 0.86 정도까지 변형됨을 알 수 있었다.

Fig. 10은 기지재가 AC8A의 경우 성형시간의 증가에 대한 온도변화와 성형되어진 후 금속복합재료의 단면을 각각 나타낸 것이다. 다이온도의 경우 y축에 기록되어진 성형시작의 온도와 실제의 온도 T_m 사이에는 약 55°C 정도의 오차가 발생하였다.

위의 원인의 용탕단조시 모듈더 전체에 온도가 일정하게 제어가 되지않아 Fig. 4의 열전대 ①과 열전대 ②의 온도가 각각 다르기 때문이다. 따라서 향후 용탕단조시 금형온도를 일정하게 유지하도록 하는 금형설계의 연구가 되어야 될 것으로 사료된다.

Fig. 10의 온도분포의 기록결과에 의하면 금형의 온도는 시간과 더불어 상승하다가 $t = 30\text{ sec}$ 이후부터는 감소하고 있다. 그대신 금형의 온도가 감소하는 $t = 30\text{ sec}$ 부터는 펀치온도의 증가율은 그렇게 크지 않음을 알 수 있다.

위의 원인은 가압에 의하여 금형 및 펀치로부터 열유동 현상이 계속 증가되고 있기 때문이다. 그러나 $t = 30\text{ sec}$ 이후부터 금형의 온도가 감소하는 것은 함침이 완료된 후 금형의 냉각을 위하여 가열을 중단시켰기 때문으로 생각된다.

Fig. 11은 성형조건이 $T_m = 450^\circ\text{C}$, $V_f = 10\%$, $T_d = 750^\circ\text{C}$, $T_p = 430^\circ\text{C}$ 일 때 시간과 가압력과의 관계를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 두께 24 mm의 예비성형체에 기지재가 완전히 침투되는 시간을 측

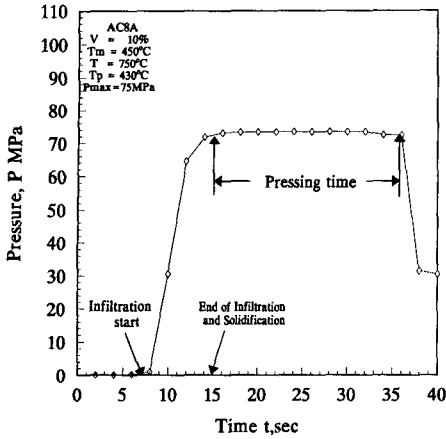


Fig. 11 Pressure variation to pressure time in squeeze casting process for Metal matrix Composites

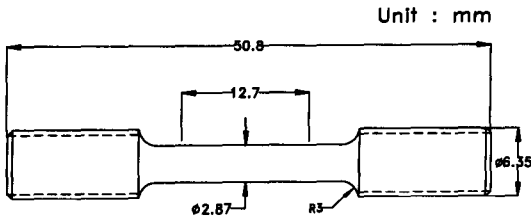


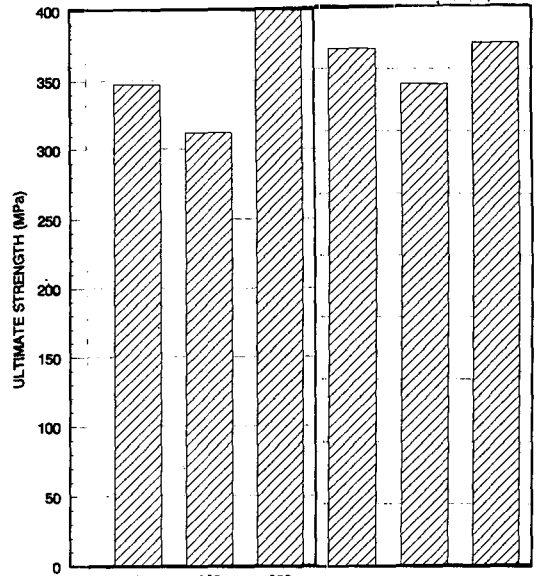
Fig. 12 Test specimen for tensile test of metal matrix composites

정할 수 없었다. 그러나 8 sec 범위내에서 함침이 완료됨과 동시에 응고현상이 완전히 일어남을 알 수 있었다. 가압시간 30 sec 이후부터는 가압력이 급격히 감소하고 있다. 그 이유는 가압후 펀치의 상승에 기인하며, 또한 금형과 펀치사이에 잔류 응고기지재가 남아있기 때문에 미소한 압하력이 존재함을 알 수 있다.

본 연구에서는 용탕단조공정중 함침이 양호한 AC8A와 함침도중 예비성형체의 변형이 큰 Al7075의 강도를 파악하기 위하여 Fig. 12과 같은 인장시편을 제작하였다.

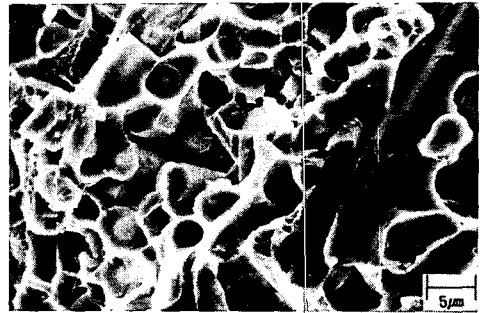
Fig. 13(a)는 AC8A로 한 경우 가압력 75 MPa, 금형온도와 예비성형체 온도를 각각 $T_m=400^\circ\text{C}$ 와 $T_p=300^\circ\text{C}$ 로 고정시키고 용탕온도 $T_1=750^\circ\text{C}$, 800°C , 850°C 로 각각 변화시켰을 때 최후응력은 각각 347, 312 및 400 MPa로 용탕온도가 높아질수록 기지재의 침투가 용이해져 강도가 향상되었음을 알 수 있다.

Fig. 13(b)는 $V_f=23\%$ 인 Al7075를 기지재로 한

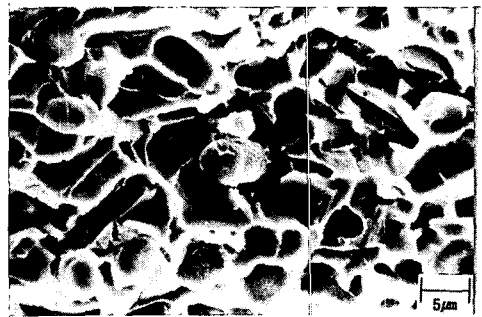


(a) AC8A matrix alloy (b) Al7075 matrix alloy

Fig. 13 (a) (b) Relation ultimate strength and pouring temperature



(a) $T_1=700^\circ\text{C}$



(b) $T_1=850^\circ\text{C}$

Fig. 14 SEM micrographs in the fracture surface of tensile test specimens of metal matrix composites fabricated by squeeze casting $T_m=400^\circ\text{C}$, $T_p=300^\circ\text{C}$, $V_f=10\%$, $P=75\text{ Mpa}$

경우 금형온도 $T_m=450^\circ\text{C}$, 예비성형체 온도 $T_p=400^\circ\text{C}$, 가압력 $P=75\text{ MPa}$ 로 했을 때 용탕 온도 $T_1=750^\circ\text{C}$, 800°C , 850°C 에 대해 각각 416, 388, 421 MPa를 기지재로 했을 때와 비슷한 경향을 보였다.

기지재의 강도가 AC8A에 비하여 불구하고 인장강도의 값이 크게 증가되지 않는 이유는 Fig. 8에서 보여주듯이 함침상태가 양호하지 못하였기 때문으로 생각된다.

Fig. 14(a, b)는 AC8A-10% $V_f\text{Al}_2\text{O}_3$ 경우 인장시험편에 대한 파단면의 SEM 조직사진이다. 용탕온도가 700°C 인 Fig. 14(a)의 경우는 섬유사이로 기지재가 침투하지 못하여 섬유끼리 뭉쳐있는 형상을 볼 수 있다. 이와같은 결함현상이 Fig. 13(a)에서 보여주는 바와 같이 인장강도를 낮게 하는 원인으로 생각된다. 반면 Fig. 14(b)에 있어서 용탕 온도가 850°C 인 경우는 기지재의 유동성이 양호하여 용탕이 섬유사이에 완전하게 침투되어 인장 강도도 Fig. 13에서 보여주는 바와 같이 400 MPa 정도까지 나타났다. 그러나 용탕온도가 너무 높을 경우에는 기지재와 섬유 사이에서 반응층이 생성하기 때문에 강도의 저하요인이 될 수도 있다.

용탕의 최고 주입온도를 850°C 로 하였지만 용탕을 주입한 후 편치가 용탕표면까지 접촉되는 시간인 5~7 sec 동안에는 금형으로부터의 열유출등이 일어나기 때문에 실제로 함침이 시작될 때는 최초의 주입온도 850°C 보다 낮을 것으로 예상된다.

Fig. 15은 Al 2024인 경우 $T_m=450^\circ\text{C}$, $T_p=$



Fig. 15 SEM micrographs in the fracture surface of tensile test specimens of metal matrix composites with matrix alloy Al7075 fabricated by squeeze casting $T_m=450^\circ\text{C}$, $T_1=800^\circ\text{C}$, $T_p=400^\circ\text{C}$, $V_f=23\%$, $P=75\text{ Mpa}$

400°C , $P_{max}=75\text{ Mpa}$, $V_f=23\%$ 인 성형조건에서 제조되어진 복합재료의 파단면을 나타낸 것이다. 예비성형체에 용탕의 침투가 완전하지 못한 경우 기공과 섬유에서의 Pull-out 등을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 결함은 Fig. 13(b)에서 보여주는 바와 같이 인장강도를 저하시키는 원인으로 생각된다.

6. 결 론

용탕단조 공정시 용융상태의 기지재를 섬유의 예비성형체내에 함침시킬때 성형한계성을 파악하기 위하여 예비성형체의 제조, 용탕단조시험에 의하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 진공가압법에 의한 예비성형체의 제조에서 진공 가압시간 30분, 진공압력 20 mmHg, 증류수 양 750 cc, 교반시간 10분, 바인더양은 섬유체적율이 10% 및 20% 일때 예비성형체 무게의 10%, 15%일때 양호한 예비성형체를 얻을 수 있었다.

(2) 반응용 영역이 좁고 액상선의 온도가 적은 AC8A가 액상선의 온도가 높은 Al7075, Al6061, Al2024 및 순수 알루미늄에 비하여 성형한계성이 증가되었다.

(3) 예비성형체의 변형률은 기지재의 종류와 가압력에 의존함을 알 수 있었다.

(4) 예비성형체의 변형률 증가는 기지재의 함침을 방해하여 섬유와 기지재사이에서의 기공의 증가 원인이 되었다.

(5) $V_f=20\%$ 인 경우 예비성형체내에 AC8A, Al7075, Al6061, Al2024, pure Al와 같은 기지재가 함침과 동시에 응고되는 시간은 8~10 sec 정도임을 실험을 통하여 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 1991년도 교육부 자유공모과제(지방대 육성과제) 학술연구조성비의 지원에 의하여 이루어졌으며, 이에 감사의 뜻을 표하는 바입니다.

참고문헌

- (1) Masur, L.J, Mortensen, A, Cornie, J.A. and Flemings, M.C, 1988, "Infiltration of Fibrous Preforms by a Pure Metal," Metall. Trans. Vol.

- 20A, pp. 2549~2557.
- (2) Martins, G.P, Olson, D.L. and Edwards, G.R, 1988, "Modeling of Infiltration Kinetics for Liquid Metal Processing of Composites," Metall. Trans., Vol. 19B, pp. 95~101.
- (3) Maxwell, P.B, Martins, G.P, Olson, D.L. and Edwards, G.R, 1990, "The Infiltration of Aluminum into Silicon Carbide Composites," Metall. Trans., Vol. 21B, pp. 475~489.
- (4) Bader, M.G, Clyne, T.W, Cappleman, C.R. and Hubert, P.A, 1985, "The fabrication and Properties of Metal-Matrix Composites Based on Aluminum Alloy Infiltrated Alumina Fibre preforms," Composites science and Tech. Vol. 23, pp. 287~301.
- (5) Sample, R.J, Bhagat, R.B. and Amateau, M.F, 1989, "High Pressure Squeeze Casting of Unidirectional Graphite Fiber Reinforced Aluminum Matrix Composites," J. of Composite Materials, Vol. 23, pp. 1021~1029.
- (6) Girot, F.A, 1990, "On the Squeeze Casting Conditions of Aluminum Matrix Composite Materials," J. of Reinforced Plastics and Composites, Vol 9. pp. 456~469.
- (7) Aghajanian. M.K, Barke, J.T, White, D.R. and Nagelberg, A.S, 1989, "A New Infiltration Process for the Fabrication of Metal Matrix Composites," 34th International SAMPLE Symp. pp. 817~823.
- (8) 長田純夫, 松田公扶, 1981, "加壓鑄造法により金屬粒子系複合材を鑄造あるときの諸條件と粒子臨界預熱溫度との關係," 鑄物, 第53卷 第2號, pp. 30~34.